Über den Einfluss der Erdbewegung auf die Verteilung der Intensität der Licht- und Wärmestrahlung.

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
bei der hohen philosophischen Fakultät der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

vorgelegt am 7. März 1903

von

Paul Nordmeyer
aus Moers.

Opponenten:
Dr. phil. des. J. Lauwartz,
Dr. phil. des. J. Loos,
cand. rer. nat. Schmidt.

Bonn,
Carl Georgi, Universitäts-Buchdruckerei.
1903.

Meiner lieben Mutter.

Die Maxwellsche Theorie, welche durch Hertz eine so glänzende Bestätigung erfahren hat, nimmt bekanntlich den Äther als Träger der elektromagnetischen Lichterscheinungen an, und zahllos sind die Annahmen und Vermutungen, die man über dessen Eigenschaften aufgestellt hat. Besonders war es die Frage nach der Beweglichkeit oder Unbeweglichkeit des Äthers, welche die Physiker immer wieder beschäftigt hat und noch beschäftigt, so dass weitgehende Rechnungen darüber angestellt sind. So haben Helmholtz, Stokes und andere die Maxwellschen Gleichungen weiter entwickelt auf Grund der Annahme, dass der Äther sich ganz oder teilweise mit der Materie mitbewege. Auf der anderen Seite ist es besonders Lorentz, der ganz von der Voraussetzung eines im Raume ruhenden Äthers ausgegangen ist und dieser Hypothese damit zu allgemeinerer Geltung verholfen hat. Eine Entscheidung für die eine oder andere Theorie ist nun natürlich abhängig zu machen von den Ergebnissen der diesbezüglichen experimentellen Untersuchungen. Die mannigfaltigen bisher angestellten Experimente vermochte Lorentz aus seiner Theorie heraus wohl zu deuten, ausgenommen das von Michelson und Morley, für welches Lorentz eine zwar sinnreiche, aber im Grunde doch gezwungene Erklärung fand. Es erschien daher als besonders lohnend und wichtig, weitere Versuche, die zur Klärung dieser weittragenden Frage beitragen könnten, anzustellen, wozu Herr Privatdozent Dr. Bucherer die Anregung gab. Da machte Herr

Professor Dr. Kayser auf ein diesbezügliches, bisher noch unerledigtes Experiment aufmerksam[1]), dessen Ausführung ich sodann übernahm. Es handelt sich dabei um einen Versuch, welchen Fizeau[2]) bereits vor einem halben Jahrhundert vorgeschlagen hatte unter der Überschrift „Eine Idee zur Messung der Umlaufsbewegung der Erde". Auf Grund einer kurzen theoretischen Erörterung sollte für den Fall, dass sich eine Lichtquelle und ein Beobachter in gleicher Richtung mit gleicher Geschwindigkeit bewegen, die zum Beobachter gelangende Strahlungsintensität eine verschiedene sein, je nachdem der Lichtstrahl mit der Bewegungsrichtung oder gegen dieselbe geht, und zwar werde die Intensität

$$J = J_0\left(1 \pm \frac{2u}{v}\right),$$

wo J_0 die Intensität in der Ruhe, u die Geschwindigkeit von Quelle und Beobachter und v die Lichtgeschwindigkeit ist. Dementsprechend war Fizeaus Vorschlag etwa folgender: Es seien auf einer um ihren Mittelpunkt horizontal drehbaren Stange in der Mitte eine Glühlampe und an beiden Enden zwei Thermoelemente aufgestellt. Letztere seien gegen einander geschaltet, so dass bei gleicher Bestrahlung — sonstige Gleichheit der Elemente u. s. w. vorausgesetzt — die entstehenden Ströme sich aufheben. Bewirkt man dieses, wenn die Stange in der Richtung der Erdbewegung steht, und dreht dann um 180°, so soll also

---

1) Auf das Experiment wird auch hingewiesen in: H. Kayser „Handbuch der Spectroscopie" Band II, Kap. VII: H. Konen „Das Dopplersche Princip" p. 436 (1902).

2) H. Fizeau, Idee zur Messung der Umlaufsbewegung der Erde. Pogg. Ann. 92, p. 652—655 (1854), dazu Cosmos 1, p. 690 (1852).

nach Fizeau infolge der veränderten Intensität ein Strom entstehen, der in einem Galvanometer gemessen werden kann. Die Stärke dieses Stromes lässt sich nach obiger Formel für eine solche Drehung um 180° leicht berechnen zu $\frac{1}{1250}$ des in der Ruhe in einem Thermoelement erzeugten Stromes, wobei die Lichtgeschwindigkeit mit 300000 $\frac{km}{sec}$ und die Erdgeschwindigkeit mit 30 $\frac{km}{sec}$ in Rechnung gezogen ist. Ein Effekt von dieser Grösse würde mit den heutigen verfeinerten Instrumenten immerhin gut wahrnehmbar sein, was Fizeau schon vor 50 Jahren von seinen Instrumenten glaubte, wie er denn überhaupt den Versuch schon damals „trotz einiger Schwierigkeiten für vollkommen ausführbar" hielt. Aber schon der Umstand, dass der Versuch bisher eben noch nicht ausgeführt war, dürfte für die dabei auftretenden Schwierigkeiten bezeichnend sein [1]). Aus den Resultaten der von mir unternommenen Ausführung des Versuches geht nun hervor, dass die Erdbewegung die Intensität der Licht- oder Wärmestrahlung, wenn überhaupt, so höchstens um $\frac{1}{300000}$ ihres Wertes in der Ruhe vermehrt oder vermindert. Die Fizeauschen Überlegungen haben sich also nicht bestätigt; wohl aber bildet das negative Resultat dieses Versuches eine weitere Stütze der Lorentzschen Theorie, auf Grund deren nämlich ein messbarer Einfluss der Erdbewegung nicht zu erwarten war.

---

1) Poincaré bemerkt in seinem Werk „Electricité et Optique", Paris 1902, dass die Messung einer Lichtintensität bis auf $\frac{1}{5000}$ unmöglich sei.

I. Teil.

Die theoretischen Betrachtungen über den Einfluss einer translatorischen Bewegung auf die Verteilung der Strahlungsintensität sind hervorgegangen aus den Erörterungen über das Dopplersche Prinzip, bei welchem es sich bekanntlich um die ebenfalls durch Bewegung hervorgerufene Änderung der Wellenlänge handelt. Während man nun über letztere Frage zu einem gewissen Abschluss gelangt ist, sind die Meinungen über die Intensitätsänderung noch sehr verschieden. Schon Doppler[1]) und sein Gegner Petzval[2]) berührten unsere Frage und stellten auch zwei verschiedene Formeln dafür auf, welche aber beide offenbar unrichtig sind. Etwa gleichzeitig liess dann Fizeau[3]) die höchst einfache und scheinbar treffende Berechnung seiner bereits erwähnten Formel erscheinen. Es sollen sich, wie er ungefähr ausführt, eine Lichtquelle A und ein Schirm B im unveränderlichen Abstande d von einander mit der Geschwindigkeit u in der Richtung $A \rightarrow B$ bewegen. In der Zeit, in der ein Lichtstrahl von A nach B gelangt, ist aber B schon weiter gerückt; erst in einem Punkte C treffe der Lichtstrahl den Schirm. Zum Durchlaufen dieser

---

1) Chr. Doppler, Über den Einfluss der Bewegung auf die Intensität der Töne mit vorzüglicher Berücksichtigung der von Seebach dagegen erhobenen Bedenken. Pogg. Ann. 84 p. 262—267 (1851).

2) J. Petzval, Über Unzukömmlichkeiten in der Undulationstheorie. Wien. Ber. 9, II, p. 699—737 (1852).

3) H. Fizeau, l. c.

Strecke $AC = d'$ brauche er die Zeit t, so dass wir erhalten:

$$d = t(v-u)$$
$$d' = d + ut$$
$$d' = d\left(1+\frac{u}{v-u}\right) = d\left(1+\frac{u}{v}\right),$$

wo v die gegen u sehr grosse Lichtgeschwindigkeit ist. Nun wendet Fizeau das Gesetz an, dass die Intensität umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung abnimmt, und erhält, wenn J_0 die Itensität der Ruhe bezeichnet:

$$J = J_0 \frac{d^2}{d'^2} = J_0\left(\frac{1}{1+\frac{u}{v}}\right)^2$$

oder

$$J = J_0\left(1-\frac{u}{v}\right)^2 = J_0\left(1-\frac{2u}{v}\right).$$

Für die Bewegungsrichtung $B \rightarrow A$ erhält man entsprechend

$$J = J_0\left(1+\frac{2u}{v}\right).$$

Dabei berücksichtigt Fizeau aber gar nicht, ob denn überhaupt das erwähnte Gesetz auch noch für die Bewegung gültig ist; ein Punkt, der doch erst zu beweisen wäre.

Diese Klippe suchen seine Nachfolger zu vermeiden, indem sie die Intensität aus den veränderten Schwingungen heraus zu berechnen suchen. Sie halten sich dabei an eine mechanische Auffassung des Schwingungsvorgangs, wie ihn etwa die Machsche Wellenmaschine verdeutlicht. So behandelt zuerst Ketteler[1]) unsern Fall und gelangt dabei, indem er

---

1) E. Ketteler, Astronomische Undulationstheorie oder die Lehre von der Aberration des Lichtes. Bonn 1873 bei P. Neusser.

noch den Winkel berücksichtigt, den die Richtung vom Schirm zur Lichtquelle mit der Bewegungsrichtung bildet, für gemeinsame Bewegung zur Formel:

$$J = J_0\left(1 \pm \frac{2u}{v}\cos\psi\right),$$

welche für $\psi = o$ in die Fizeausche Formel übergeht. Ich brauche aber hier nicht auf seine Ausführungen einzugehen, da er sie später genauer und berichtigt wiedergegeben hat und zwar auf eine Arbeit von Eötvös[1]) hin, der zu wesentlich anderen Resultaten gelangt war. Ich muss hier noch erwähnen, dass alle, die sich mit dieser Frage beschäftigt haben, annehmen, dass eine translatorische Bewegung der Schwingungsquelle auf ihre Eigenschwingungen keinen Einfluss hat. Die gegenteilige Annahme würde natürlich zu äusserst komplizierten Berechnungen führen, auf welche man eben verzichtet hat. Aber es lässt sich nicht leugnen, dass dadurch ein unbekannter Faktor in alle Rechnungen hineingelangt; ja, es wäre vielleicht nicht ausgeschlossen, dass eine Änderung der Molekularschwingungen der Quelle eine sonst vorhandene Änderung der Lichtschwingungen gerade kompensierte, eine Möglichkeit, die vielleicht sogar zur Erklärung der negativen Resultate des Experimentes heranzuziehen wäre. Ausser dieser Voraussetzung, die allen Arbeiten in dieser Frage zu Grunde liegt, macht Eötvös noch die Annahme, dass die Geschwindigkeitsamplitude — mit a bezeichnet — von der Bewegung nicht explicite abhängig sei, sondern nur implicite, insofern diese auf die scheinbare Ent-

---

1) R. v. Eötvös, Über die Intensität der wahrgenommenen Schwingungen bei Bewegung der Schwingungsquelle und des Beobachters. Pogg. Ann. 152, p. 513—535 (1874).

fernung δ der Lichtquelle von dem Schirme verändernd einwirkt; es ist nämlich

$$a = \frac{a_1}{\delta}$$

wo a_1 die Geschwindigkeitsamplitude auf einer Kugel vom Radius 1 ist und als konstant angenommen wird. Mit der gewöhnlichen Amplitude A ist a für Licht durch die Gleichung verbunden:

$$a = A\frac{2\pi}{T},$$

wo T die Schwingungsdauer ist. Eötvös berechnet nun die lebendige Kraft, welche von der Schwingungsquelle dem Medium während einer Schwingungsdauer abgegeben wird, und zwar zunächst für Schwingungen, die sich in einem cylindrischen Raume fortpflanzen, bezw. für ebene Wellen. Für den Fall der Ruhe wird dann in zwei Scheiben von der Dicke

$$\lambda = vT,$$

die zu beiden Seiten der Quelle im Abstande D liegen, dieselbe lebendige Kraft enthalten sein. Jede Scheibe denke man sich in Lamellen von unendlich kleiner Dicke zerlegt; deren Schwingungsgesetz ist

$$y = af\left(t - \frac{D}{v}\right),$$

und ihre lebendige Kraft ist

$$\frac{1}{2}ca^2f^2\left(t - \frac{D}{v}\right)dD,$$

wo c eine Konstante ist. In einer ganzen Scheibe ist sodann die lebendige Kraft enthalten:

$$L_1 = L_2 = \frac{1}{2}ca^2\int_D^{D+vT} f^2\left(t - \frac{D}{v}\right)dD.$$

Setzen wir $t-\frac{D}{v}=x$ und beachten, dass $f(x)$ um T periodisch ist, so wird

$$L=L_1+L_2=cva^2\int_0^T f^2(x)dx.$$

Für den Fall, dass sich die Quelle mit der Geschwindigkeit u bewegt, wird für eine Seite

$$y=af\left(\frac{v}{v-u}t-\frac{D}{v-u}\right)$$

und

$$\lambda=(v-u)T,$$

so dass wir bekommen:

$$L_1=\frac{1}{2}ca^2\int_D^{D+(v-u)T} f^2\left(\frac{v}{v-u}t-\frac{D}{v-u}\right)dD$$

oder

$$L_1=\frac{1}{2}c(v-u)a^2\int_0^T f^2(x)dx.$$

Für die andere Seite erhalten wir entsprechend

$$L_2=\frac{1}{2}c(v+u)a^2\int_0^T f^2(x)dx.$$

In der Tat ist die Summe der nach beiden Seiten hin abgegebenen Energiemengen dieselbe für den Fall der Ruhe, wie der Bewegung, was man ja sofort sieht. Als Intensität definiert nun Eötvös diejenige lebendige Kraft, welche in der Zeiteinheit auf die der Wellenfläche parallele Flächeneinheit fallen würde, wenn alle Schwingungen derjenigen gleich wären, welche von dem Augenblick ab mitgeteilt werden, wo die Intensität bestimmt werden soll. Bezeichnen wir die Zahl der in der Zeiteinheit auffallenden Schwingungen mit n' bzw. n'', so ist

$$J_1=n'L_1 \text{ bezw. } J_2=n''L_2.$$

Es soll ferner die Flächeneinheit so gewählt werden, dass ihre Dimensionen D gegenüber verschwinden.

Wenn wir nun den Fall betrachten, dass sich auch der Beobachter mit der Geschwindigkeit u' in derselben Richtung wie die Quelle bewege, so müssen wir setzen

$$T_1 = \frac{v - u}{v - u'} T$$

oder

$$n' = \frac{v - u'}{v - u} n.$$

Ferner wird für Kugelwellen

$$a = \frac{a_1}{\delta} = \frac{a_1}{D} \cdot \frac{v - u}{v},$$

so dass wir endlich bekommen

$$J_1 = \frac{1}{2} c \frac{a_1^2}{D^2} \cdot (v - u) \left(\frac{v - u}{v} \right)^2 \cdot \frac{v - u'}{v - u} \int_o^T f^2(x) dx$$

und einen entsprechenden Wert mit dem $+$-Zeichen für J_2. Für den Fall der Ruhe ist nun

$$J_0 = \frac{1}{2} c\, v \frac{a_1^2}{D^2} \int_o^T f^2(x) dx,$$

so dass wir für den Fall gleichzeitiger Bewegung von Quelle und Schirm die Formel erhalten

$$J = J_0 \left(\frac{v \pm u}{v} \right)^2 \cdot \frac{v \pm u'}{v}.$$

Daraus ergiebt sich für $u = u'$ die von der Fizeauschen abweichende Formel

$$J = J_0 \left(1 \pm \frac{3u}{v} \right),$$

für $u' = o$, also für einen ruhenden Beobachter

$$J = J_0 \left(1 \pm \frac{2u}{v} \right)$$

und endlich für eine ruhende Quelle

$$J = J_0 \left(1 \pm \frac{u}{v} \right).$$

Durch diese Eötvösschen Ausführungen veranlasst, liess nun Ketteler[1]) die in seiner ersten Arbeit gemachte Annahme, dass die Amplitude im gewöhnlichen Sinne unabhängig von der Bewegung sei, fallen und ersetzte sie durch die von Eötvös aufgestellte Voraussetzung in betreff der Geschwindigkeitsamplitude. Er gelangt dann, indem er die Eötvössche Arbeit noch ergänzt und genauer ausführt, für die an das Mittel abgegebene lebendige Kraft zu ganz entsprechenden Formeln, wie Eötvös. Daraus zieht er jedoch andere Folgerungen für die Intensitätsberechnung, welche er ausführt durch Summierung der lebendigen Kräfte, welche der Flächeneinheit des Schirms während der Zeiteinheit zugeführt werden. Er integriert so $\frac{1}{2}\mu\, y^2\, dt$ über die Zeiteinheit, wo μ die Masse der vor der Flächeneinheit liegenden Schicht des zuführenden Mediums ist. Für ebene Wellen und gleichzeitige Bewegung von Quelle und Schirm erhält man so nach Ketteler

$$y = a \cos 2\pi\left(\frac{t}{T_1} - \frac{D}{\lambda_1}\right)$$

und

$$J = \frac{1}{2}\mu a^2 \int_{t-\frac{1}{2}}^{t+\frac{1}{2}} \cos^2 2\pi\left(\frac{t}{T_1} - \frac{D}{\lambda_1}\right) dt$$

oder

$$J = \frac{1}{4}\mu a^2 = J_0.$$

Bei ebenen Wellen übt also die Bewegung keinen Einfluss aus. Für Kugelwellen wird dagegen

1) E. Ketteler, Erwiederung auf einige Bemerkungen des Herrn Eötvös. Pogg. Ann. 154, p. 260—271 (1875).

$$y=\frac{a_1}{\delta}\cos 2\pi\left(\frac{t}{T_1}-\frac{D}{\lambda_1}\right)$$

und

$$J=\frac{1}{2}\mu a_1{}^2\int\limits_{t-\frac{1}{2}}^{t+\frac{1}{2}}\frac{1}{\delta^2}\cos^2 2\pi\left(\frac{t}{T_1}-\frac{D}{\lambda_1}\right)dt.$$

Wird in dieser Formel d als konstant — also der Abstand zwischen Quelle und Beobachter als sehr gross — angenommen, und wird für $t=o$, also für den Moment integriert, in dem dieser Abstand gerade D ist, so wird

$$J=\frac{1}{2}\mu\frac{a_1{}^2}{D^2}\left(1-\frac{u}{v}\right)^2\int\limits_{-\frac{1}{2}}^{+\frac{1}{2}}\cos^2 2\pi\left(\frac{t}{T_1}-\frac{D}{\lambda_1}\right)dt$$

oder

$$J=\frac{1}{4}\mu\frac{a_1{}^2}{D^2}\left(1-\frac{u}{v}\right)^2$$

oder

$$J=J_0\left(1-\frac{2u}{v}\right).$$

Wie man sieht, ist die Geschwindigkeit u' des Beobachters — für welche die Formel abgeleitet ist — in der Formel selbst aber nicht mehr enthalten. So kommt denn Ketteler zu dem doch unannehmbaren Schluss, dass die Intensität nur von der absoluten Bewegung der Lichtquelle und nicht auch von der des Beobachters abhängt, wenn deren Abstand sehr gross ist, wie es zwischen einem Stern und der Erde der Fall ist.

Auf diese Arbeit von Ketteler hin ruhte unsere Frage nach der Veränderung der Intensität durch Be-

wegung bis in die neuste Zeit, wo ihr dann Konen[1]) ein eingehendes Referat widmete, und auch Lorentz[2]) sie auf Grund seiner Theorie behandelte. Letzterer leitet für die in der Volumeneinheit enthaltene Energie U bei einem relativ zum Äther ruhenden Beobachter und einer bewegten Lichtquelle mittels schwieriger Rechnungen die Formel ab:

$$U = \frac{n^4}{8\pi v^2}\left(1 + \frac{2u}{v}\right)\frac{a^2}{r^2}.$$

Hierin bedeutet n die Anzahl der Schwingungen, welche das die Strahlen aussendende Elektron in der Zeiteinheit abgiebt, a die Amplitude der Schwingung, r den Abstand des oszillierenden Elektrons von dem Beobachter, und u und v die Geschwindigkeiten, wie bisher. Die durch eine im Äther ruhende Fläche strömende Energie ist dann

$$vU.$$

Denken wir uns nun eine gegen die Erde ruhende unendlich kleine Scheibe ω, die senkrecht zu den Strahlen steht und aus vollkommen schwarzem Material besteht, so definiert Lorentz als Intensität die in dieser Scheibe pro Zeit- und Flächeneinheit auftretende Wärmemenge. Eine solche Definition steht in Einklang mit den tatsächlichen Verhältnissen bei jeder derartigen Messung, und es dürfte vielleicht als ein Hauptfehler aller bisherigen Rechnungen zu bezeichnen sein, dass sie nur die an das umgebende Medium von der Quelle abgegebene Energie, nicht aber die als Wärme auftretende Ener-

---

1) H. Konen, Das Dopplersche Prinzip, Kap. VII in H. Kayser, Handbuch der Spectroscopie. Band II. 1902.

2) H. A. Lorentz, The intensity of radiation and the motion of the earth. Amsterdamer Akademie 1902.

gie in Betracht zogen. Auf diese Weise wird nämlich die gegen den Strahlungsdruck zu leistende und als Wärme auftretende Arbeit ganz ausser Acht gelassen, welche Lorentz in seine Rechnungen einführt. Zu dem Zwecke denkt er sich ω, das sich mit der Lichtquelle in der Richtung auf diese zu bewegt, als die Basis eines auf die Lichtquelle zu gerichteten Cylinders C, der nach der Quelle hin durch eine im Raume feststehende, dem ω vollkommen gleiche Scheibe ω' geschlossen ist. Die Entfernung $\omega - \omega' = h$ sei so lang, dass während einer bestimmten Zeit ϑ die Scheibe ω das ω' nicht erreichen kann; ferner soll $\frac{h}{r}$ eine zu vernachlässigende, äusserst kleine Grösse sein. Bezeichnen wir nun mit e_1 den Energiebetrag, der ω' durchsetzt, mit e_2 die in dem verdrängten Teil des Cylinders enthaltene Energiemenge, und mit e_3 die gegen den auf ω ausgeübten Ätherdruck geleistete Arbeit, so ist die Absorption für ω gegeben durch

$$e = e_1 - e_2 - e_3.$$

Nun ist aber

$$e_1 = v\,U\omega\vartheta,$$

und, da das Volumen des Cylinders um $u\omega\vartheta$ abnimmt,

$$e_2 = u\,U\omega\vartheta.$$

Endlich haben wir, wenn die Verschiebung der Scheibe $v\vartheta$ ist,

$$e_3 = v\,U\omega\vartheta,$$

so dass wir erhalten

$$e = (v - 2u)\,U\omega\vartheta$$

oder

$$e = \frac{n^4}{8\pi v} \cdot \frac{a^2}{r^2}\,\omega\vartheta,$$

wenn $\frac{u^2}{v^2}$ vernachlässigt wird. Da hierin u nicht mehr

vorkommt, so folgt nach Lorentz, dass die Erdbewegung keinen Einfluss auf die Verteilung der Intensität hat.

Welche von allen diesen bisher aufgestellten theoretischen Betrachtungen ist nun die richtige? Gegen die von einem mechanischen Bilde ausgehenden lässt sich, wie schon bemerkt, der gewichtige Einwand erheben, dass sie den — allerdings erst später — experimentell bestätigten Strahlungsdruck vernachlässigen, und gegen die Lorentzsche Theorie wenden sich manche Physiker, weil sie das Prinzip der Aktion und Reaktion verletze, und dann wären auch die oben dargestellten Folgerungen aus seiner Theorie wohl nicht zutreffend. Jedenfalls hat Lorentz den Vorteil, dass seine theoretischen Resultate übereinstimmen mit den experimentellen Resultaten, während durch diese die anderen Theorien nicht bestätigt werden.

II. Teil.

Die Grundlagen zur Ausführung meiner Versuche bildeten natürlich die Angaben in dem Vorschlage Fizeaus. Nach ihnen galt es, einen leuchtenden Körper und Thermoelemente drehbar und geschützt vor fremden Einflüssen anzuordnen und ein hinreichend empfindliches, störungsfreies Galvanometer aufzustellen. Was nun zunächst das letztere anbetrifft, so waren die dabei auftretenden Schwierigkeiten nicht gering. Denn da das Bonner physikalische Institut leider grossen Erschütterungen durch vorbeifahrende Wagen ausgesetzt ist, so war es erstes Erfordernis, für eine er-

schütterungsfreie Aufstellung des Galvanometers zu sorgen. Ich erreichte dieses durch folgende Anordnung. Von der Spitze eines Wandarms gehen horizontal nach den Ecken eines gedachten gleichseitigen Dreiecks hin 3 ca. 25 cm lange Eisenleisten; von deren Enden hängen drei dünne, aber sehr feste ca. 3 m lange Stahldrähte herab, die in Messinghaken auslaufen. Über diese geht ein doppelt gelegter, dicker Gummischlauch so, dass er nach unten hin 3 Schleifen bildet, auf welchen eine dreieckige, 2 cm dicke Holzplatte aufliegt. Auf letzterer liegen noch zwei Filzplatten und eine Glasplatte. Dieser Galvanometertisch ist lotrechten Erschütterungen kaum noch ausgesetzt. Um auch etwaige seitliche Schwingungen schnell zu dämpfen, ist in die Holzplatte nach unten hin eine Messingstange eingeschraubt, die an ihrem Ende mit einer vierflügeligen Schaufel in ein Ölbad eintaucht. Die Stromzuleitung geschah mittels zweier in Paraffin gebetteter und auf der Holzplatte aufgestellter Quecksilbernäpfchen, weil eine starre Verbindung zu leicht einen Zwang auf das Galvanometer ausgeübt hätte. Gegen Luftzug, äussere Berührung u. s. w. wurde das Galvanometer dadurch geschützt, dass die Zimmerecke, in der es hing, durch Glasfenster und unten durch ein bis zum Boden reichendes Tuch abgegrenzt wurde. Infolge dieser Vorkehrungen stand das Galvanometer fast gänzlich ruhig; nur schwerste Lastwagen machten sich noch bemerkbar.

Ich benutzte zuerst ein astatisches Spiegelgalvanometer nach du Bois und Rubens, in dem an einem Quarzfaden das zum Instrument gehörige kleinere Gehänge hing. Da letzteres aber magnetischen Einwirkungen von inner- oder ausserhalb des Zimmers

bewegten Eisenteilen zu sehr zugänglich war, brachte ich eine nach Prof. Broca in Paris verfertigte Nadel an, der ausser anderen guten Eigenschaften besonders grössere Unempfindlichkeit gegen magnetische Einflüsse nachgerühmt war. Sie bestand aus einem sehr dünnen Stahlröhrchen, das in Form eines Rechtecks von der Grösse 70 × 2 mm gebogen und so magnetisiert war, dass in der Mitte Gegenpole vorhanden waren. Leider erfüllten sich die an diese Nadel geknüpften Hoffnungen nur in geringem Masse; eine kleine Besserung war jedoch zu verspüren, so dass ich mit diesem Instrument den Versuch durchführen zu können glaubte.

Da traten nach den Pfingstferien sehr starke Schwankungen auf; es ergab sich, dass diese durch vagabundierende Ströme hervorgerufen wurden, welche von der neu eröffneten elektrischen Bahn Bonn-Beuel ausgingen. An der dem Institut zunächst liegenden Stelle der Bahnstrecke — bei der Post — trafen sich alle 10 Minuten zwei Wagen und verstärkten so die Wirkung auf das Galvanometer. Beistehende Kurve giebt ein Bild von diesen Störungen, die, wie man bemerkt, alle 10 Minuten am stärksten werden.

Ich benutzte jetzt ein Galvanometer nach Deprez-d'Arsonval, das ja gegen magnetische Einflüsse so gut

wie unempfindlich ist. Dagegen traten bei ihm andere gesetzmässig erscheinende Schwankungen auf, die sich im wesentlichen auf Temperaturschwankungen zurückführen liessen. Letztere bewirkten wahrscheinlich ein Verziehen der Messingspirale zwischen dem Boden und der beweglichen Spule. Von den beistehenden Kurven giebt die erste die zeitliche Änderung von Nullpunkt und Temperatur wieder; die zweite zeigt die Nullpunktsänderung als — nahezu lineare — Funktion der Temperatur.

Die Skala stand bei diesem Instrument 9 m vom Spiegel entfernt; doch genügte auch die dadurch erreichte Empfindlichkeit nicht, da aus später angegebenen Gründen nach der Fizeauschen Formel ein Effekt von nur 4—5 Skalenteilen zu erwarten war. Doch hat dieses Instrument insofern gute Dienste getan, als bei ihm Ausschläge, die sicherlich von Störungen herrührten, leichter zu beobachten waren und so der Drehapparat so weit vervollkommnet werden konnte, bis ein empfindlicheres Instrument wieder notwendig war. Als solches nahm ich das zuerst benutzte nach du Bois und Rubens, versah es jedoch an Stelle der Glasglocke mit einem 2 cm

dicken Panzer aus weichem Eisen von derselben Form, wie die Glasglocke. Vorne war darin zur Spiegelablesung eine kreisrunde Öffnung, die durch eine planparallele Glasplatte geschlossen war. An die Stelle des früheren Messingdeckels kam ein Eisendeckel, ebenso wurde unter das Instrument eine Eisenplatte gelegt. Als Nadel hatte ich wieder das zum Instrument gehörige leichte Gehänge genommen, nachdem ich als Richtmagneten für sie auf den Boden innerhalb des Panzers ein Stückchen magnetisierter Stricknadel gelegt hatte. Darauf gelang denn die Astasierung mittels der zum Instrument gehörigen äusseren Magneten sehr gut, wenn auch nur nach grosser Mühe. Da sich nun trotz dieses Panzers magnetische Störungen noch immer etwas bemerkbar machten, so wurde um das ganze Galvanometer nebst Aufhängung herum noch ein Cylinder aus weichem Eisen gesetzt von $^1/_2$ cm Dicke, 75 cm Höhe und 62 cm Durchmesser. Vorne war wieder eine Öffnung zur Spiegelablesung, die — wie noch erwähnt sein möge — durch Fernrohr und Skala, welche 3 m vom Spiegel entfernt standen, vorgenommen wurde. Durch diesen zweiten Panzer war dann endlich die magnetische Störung auf ein Minimum herabgedrückt. Nur starke Funkeninduktoren, mit denen zeitweilig im Institut in ca. 30 m Entfernung gearbeitet wurde, machten sich noch bemerkbar. Im Ganzen hatte ich aber ein Instrument, mit dem ich die in betracht kommenden Messungen mit voller Sicherheit ausführen konnte.

Gleichzeitig mit den Arbeiten am Galvanometer war mit der Aufstellung der Thermoelemente und der Glühlampe begonnen worden, wobei sich zahlreiche, nicht geringe Schwierigkeiten zeigten.

Denn bei der Geringfügigkeit des zu erwartenden Effektes war natürlich die Möglichkeit sehr gross, dass ein solcher Effekt durch andere Ursachen verdeckt bezw. vorgetäuscht wurde. Wenn z. B. der Boden, auf dem die Thermoelemente stehen, sich etwas verzieht, oder wenn die Elemente bei der Drehung gerüttelt werden, und durch diese oder andere Ursachen der Lampe — und sei es nur um $^1/_4$ mm — näher kommen, so ist ein nicht geringer Ausschlag im Galvanometer die Folge. Oder es ändert sich bei der Drehung die Umgebung der Elemente: es wird dann die veränderte Strahlung einen Ausschlag und zwar eventuell einen durchaus regelmässigen hervorrufen. Es musste sich also die nächste Umgebung mitdrehen und Einflüsse der weiteren Umgebung ausschliessen. Ich gelangte so zur Konstruktion eines drehbaren Kastens, der zur Aufnahme der Elemente und der Lampe diente. Dieser Kasten entstand ganz allmählich, indem eine Störung nach der anderen beseitigt wurde. Die schliesslich noch auftretenden, wohl kaum zu vermeidenden liessen sich durch geeignete Massnahmen bei den Messungen eliminieren, wovon später noch die Rede sein wird. Der Kasten, wie er zuletzt benutzt wurde, bot dem Beschauer den Anblick einer geschlossenen Zinkblechtrommel von etwa $^1/_2$ m Höhe und 1 m Durchmesser. Er stand vermittels dreier Rollen auf einer $^1/_2$ cm dicken Spiegelglasplatte, die auf einem festen Experimentiertische lag, und konnte um seine Mittelachse horizontal gedreht werden. Umstehende Figur giebt einen Querschnitt durch den Apparat in der Richtung der Thermoelemente.

Auf einer kreisrunden Holzplatte *a*, an welcher die 3 Rollen befestigt sind, liegt eine dicke Watte-

schicht, auf welche dann der eigentliche Kasten für die Elemente frei aufgesetzt ist. Dieser besteht aus dem kreisförmigen Holzboden *b*, der von einem nach innen mit Stanniol beklebten Pappecylinder *c* rings

umschlossen ist. Auf den Boden *b* sind Holzplatten aufgeschraubt, welche die Unterlage bilden für ein Zinkgefäss mit dem Boden *d* und der angelöteten, cylinderförmigen Wand *d'*. Die Zwischenräume zwischen *b* und *d*, *c* und *d'* sind mit Watte gefüllt. Trotz dieser

Pappe-, Watte-, Zinkwand waren die innerhalb aufgestellten Thermoelemente doch noch nicht genügend gegen äussere Strahlung geschützt, z. B. gegen die der Sonne. Daher wurde um den Pappecylinder noch eine Watteschicht und noch ein Zinkmantel *e* herumgelegt. Sowohl der Pappe- wie der innere Zinkcylinder *d d'* sind nach oben hin durch abnehmbare, mit Latten versteifte Zinkdeckel *f f'* geschlossen. Der ganze innerste Raum war schwarz angestrichen, um eine Reflexion nach Möglichkeit zu verhindern. Die Thermoelemente und die Glühlampe wurden auf ein schmales, trockenes Brett *n* montiert, und dieses wurde auf den Boden *d* fest aufgeschraubt. Die Glühlampe war — natürlich in der Mitte — mit ihrer Fassung fest in einen in das Brett eingeleimten Holzsockel *k* eingeklemmt. Gebraucht wurde bei den Endversuchen eine gewöhnliche Glühlampe mit Kohleschleife zu 50 Kerzen, 40 Volt und 7.75 Ampère. Zuerst waren Versuche mit einer gleich starken, aber bis auf zwei Schlitze versilberten Glühlampe gemacht. Da jedoch die Versilberung trotz mehrfacher Erneuerung wegen der grossen Wärmeentwicklung immer wieder absprang, sah ich von dieser Art, die Strahlungsintensität zu erhöhen, ab. Dieselbe Lampe ohne Versilberung, sowie die bei den Endversuchen benutzte gaben nämlich an die Thermoelemente nur etwa 5 mal so viel Wärme ab, wie eine gewöhnliche Stearinkerze, und dies war bei Benutzung des d'Arsonval-Galvanometers viel zu wenig. Nachdem ich noch die Anwendung von Petroleumlampen verschiedener Konstruktion, jedoch ohne Erfolg, versucht hatte, blieb mir, um die sonst sehr zweckmässige und vor allem konstante Glühlampe weiter benutzen zu können, nur der Weg übrig, ein empfindlicheres Galvanometer aufzustellen, wovon ja

schon die Rede gewesen ist. Zu beiden Seiten dieser Glühlampe standen nun die nach Rubens konstruierten Thermoelemente; diese waren mit ihrem schweren Metallfuss *l* in viereckige Holzklötzchen *l'* fest eingelassen. Letztere waren zwischen zwei Leisten in der Richtung auf die Lampe zu verschiebbar und zwar eines von aussen her mittels der hölzernen Handhabe *m*. Zum Schutze gegen im Kasten auftretende Luftströmungen und gegen äussere Einflüsse hatte ich die Elemente zuerst in Watte gepackt und Holzkästen mit Zinkeinlage um sie herum gesetzt, so dass nur zur Lampe hin eine Öffnung blieb. Die Elemente erhitzten sich aber dabei zu stark, auch war eine solche Umgebung bei der Erwärmung und Drehung zu inkonstant. Sodann brachte ich zwischen Lampe und Thermoelemente Zinkröhren von 10 cm Durchmesser an, damit einesteils die Luftströmungen zwischen Lampe und Elementen verhindert würde, und weil dadurch anderenteils die Intensität der Strahlung in willkommener Weise erhöht wurde. Aber auch diese Röhren entfernte ich wieder, weil durch eine zu leicht mögliche, geringste Verschiebung oder Verziehung die Strahlung sehr geändert wurde, und vor allem, weil durch die Röhren die Art der Strahlung in einer theoretisch nicht leicht zu definierenden Weise geändert wird. Es standen also schliesslich die Thermoelemente frei etwa in der Mitte zwischen Glühlampe und Wand in dem Kasten.

Als Führung für die Leitungsdrähte war in den Boden *b* quer über die Glühlampe ein Holzgalgen *g* eingeleimt, von dem aus in der Mittelaxe des ganzen Apparates eine Holzstange *g'* ins Freie führte. Die dicken, wie gewöhnlich isolierten Lichtdrähte gingen direkt am Holz entlang zur Lampe hin. Zur Thermo-

stromleitung i i' wurde gewöhnlicher, gut isolierter Klingelleitungsdraht benutzt und zwar wurde er durch Glasröhren an der Stange entlang und über den Boden zu den Elementen geführt. Zuerst war im Kasten jeder Draht einzeln verlegt worden; da aber durch die Drehung die Fläche der Drähte ihre Stellung zum erdmagnetischen Feld änderte, und dadurch sehr störende Induktionsströme auftraten, wickelte ich die Drähte umeinander, nachdem ich sie durch eine dicke Gummibandwickelung noch besser isoliert hatte. Die Induktionsströme fielen von da ab vollständig fort. Etwa einen halben Meter über dem Apparat waren die Drähte an einem Glasrohr befestigt, das über einen quer durchs Zimmer straff gespannten Draht gezogen war. Die Lichtdrähte, die sofort an diesem Draht befestigt waren, hatten zwischen diesem und der Holzstange ein Verbindungsstück h aus ganz weicher Leitungsschnur, so dass sie keinen Zug auf die Holzstange ausüben konnten; sie schlossen sich dann weiterhin an das von der grossen Akkumulatorenbatterie des Instituts ausgehende Stromnetz an. Die Leitung von den Thermoelementen zum Galvanometer bezw. zum Stromschlüssel wurde nur über bezw. durch Glasröhren geführt; auch der Stromschlüssel stand auf einer Glasplatte, so dass die Isolation wohl nichts zu wünschen übrig liess. Der Schlüssel bestand aus zwei Kupferbarren auf einer Hartgummiplatte, die durch einen Kupferstöpsel verbunden werden konnten; an jeder Barre war eine Klemmschraube, und alle diese Teile waren, um Thermoströme zu vermeiden, aus demselben Kupferblock gearbeitet. Ausserdem wurde der Schlüssel während der Versuche durch ein darüber gestülptes Holzkistchen gegen äussere Bestrahlung geschützt. An der ganzen Leitung war nur eine Lötstelle, und

diese war dick mit Watte umwickelt, so dass also Thermoströme nicht mehr in Frage kamen.

Von dieser Lötstelle aus zweigte ein Draht ab, damit auch das Galvanometer allein eingeschaltet werden konnte, wie es zu Empfindlichkeitsbestimmungen nötig war. Diese wurde nach beistehender Figur, Schema I gemacht; dabei ergibt sich, unter x den beobachteten Ausschlag verstanden, dass 1 Ampère $\frac{x}{2} \cdot 10^8$ Skalenteile liefert. Die Kraft, welche die Glühlampe in einem Thermoelemente erzeugt, wurde nach Schema II gemessen. Dabei war der Widerstand der Thermoelemente, Leitungsdrähte und des Galvanometers zusammen 15 Ohm. Es liefert also 1 Thermoelement $\frac{1.1}{15} \cdot 10^{-4}\ y$ Ampère oder $\frac{1.1}{3} \cdot\ 10^3\ xy$ Skalenteile, wo y die Anzahl Ohm bedeutet, die man dem vom Strom eines Daniell durchflossenen Widerstand entnehmen muss. Von diesen Skalenteilen sind nach Fizeau $\frac{1}{1250}$ bei der Drehung um 180^0 zu erwarten; es wäre also der zu erwartende Ausschlag $0.29333 \ldots xy$ Skalenteile. In den Tabellen habe ich

den hiernach berechneten nach Fizeau zu erwartenden Ausschlag für jede Versuchsreihe angegeben. Bei dieser Berechnung, wie bisher überhaupt ist stillschweigend angenommen, dass die elektromotorische Kraft sich in gleicher Weise, wie die Intensität, ändere; für die bei meinem Versuch herrschenden Verhältnisse unterwarf ich diese Annahme einer experimentellen Prüfung, wobei sie sich als vollkommen berechtigt herausstellte.

Ein für das Gelingen der Versuche nicht unr wesentlicher Faktor war noch der ruhige und sichere Gang des Kastens beim Drehen, der dadurch erreicht wurde, dass der Kasten, wie schon erwähnt, mittels leicht sich drehender Rollen auf einer Spiegelglasplatte lief. Um ihn nun vom Beobachtungsplatze aus leicht bewegen zu können, war folgender Mechanismus angebracht. In der Mitte des Brettes *a*, an dem auch die Rollen befestigt sind, ist genau senkrecht nach unten hin eine Stahlstange angeschraubt, die durch die Glas- und Tischplatte hindurchgeht und in letzterer eine genau passend gedrehte, festgeschraubte Stahlführung besitzt. Unterhalb der Tischplatte ist auf die Stange eine Eisenrolle von 20 cm Durchmesser aufgeschraubt, die durch ein beim Beobachtungsplatz stehendes Treibrad von 30 cm Durchmesser mittels einer Schnur ohne Ende gedreht werden kann. So konnte ich bei gleichzeitiger Beobachtung die Stellung des Kastens beliebig variieren. Vielleicht ist noch erwähnenswert, dass dieser mitten im Zimmer stand, so dass um ihn herum nach allen Seiten hin ein freier Raum von mindestens 2 m war. Dadurch wurden die äusseren Bedingungen in betreff der Temperatur, die in dem Zimmer durch die teilweise über 1 m dicken Wände und infolge davon, dass direkte Sonnen-

strahlung durch Verkleben der Fenster mit dickem Packpapier abgehalten wurde, an und für sich schon recht gleichmässig waren, womöglich noch gleichmässiger gestaltet. Hiermit glaube ich alles Wesentliche über die zu den Versuchen benutzten Apparate gesagt zu haben.

Die Versuche selbst wurden nun in der Weise angestellt, dass eine Stunde vor Beginn der Beobachtungen die Glühlampe angezündet wurde, da die Erfahrung gezeigt hatte, dass sich erst dann im Kasten ein einigermassen stationärer Zustand herstellte. Ferner wurde dann zwischen jeder Drehung und der zugehörigen Ablesung genau 3 ½ Minute gewartet, da erst nach dieser Zeit die Ruhelage wieder erreicht war. Während der 3 ½ Minuten schwankte die Nadel stark, und zwar ergaben sich, wenn alle halbe Minute abgelesen wurde, beispielsweise folgende Zahlen (das Drehen ist mit √ bezeichnet):

215	√	215	230	315	250	225	250
215	√	200	205	295	285	260	246
220	√	215	350	300	290	253	270
260	√	270	260	280	320	310	265
245	√	240	320	350	315	287	280
268	√	u. s. w.					

Diese Schwankungen erkläre ich mir an der Hand der beistehenden Figur folgendermassen: *A* und *B* seien die beiden Thermoelemente. In Stellung *I* seien sie kompensiert, wobei aber die *A* umgebende Luft aus irgend einem Grunde wärmer bleibe, als um *B*. Es könnte z. B. der nicht zu vermeidende Umstand, dass ein Element schwächer ist als das andere, und daher näher an der Lampe, also in wärmerer Luft steht, oder dass die Krümmung des Zinkcylinders hinter den Elementen verschieden ist, diese Erscheinung her-

vorrufen. Drehe ich nun, so dreht sich die Luft nicht mit: *B* kommt in wärmere, *A* in kältere Luft (*II a*) und wir erhalten einen Ausschlag. Erst allmählich stellt sich der dem Kasten eigentümliche Zustand wieder her, so dass *A* wieder in wärmerer Luft steht (*II b*), und damit der Ausschlag wieder verschwunden ist. Drehe ich dann wieder, so tritt dieselbe Erscheinung auf, wie es Stellung *III a* und *III b* = *I* zeigen: wir erhalten immer einen Ausschlag nach derselben Seite hin, was dem tatsächlichen Befunde vollkommen entspricht.

Während der langen Zeit, die so zwischen den einzelnen Messungen gewartet werden musste, war natürlich die Möglichkeit sehr gross, dass sich der Kompensations-Punkt z. B. durch langsames Verziehen infolge von Erwärmung änderte. Da ein derartiger „Drift“, der manchmal auch sprungweise vor sich ging, natürlich nichts mit einem etwaigen Einfluss der Erdbewegung zu tun hat, so entfernte ich ihn aus den Resultaten durch eine, wie man zugeben wird, vollkommen statthafte Rechnung. Dieser Drift zeigte sich dadurch, dass die Nadel bei der Rückdrehung in die erste Stellung nicht in ihre alte Lage zurückkehrte; diesen Ausschlag brachte ich auf die Ausschläge bei der einzelnen Drehung in Anrechnung. In den Tabellen, die ich jetzt folgen lasse, habe ich mit *a* die Stellung bezeichnet, in der das von aussen bewegbare Element nach Osten stand, und entsprechend *b*, *c*, *d* für Süden, Norden,

Westen. Unter dieser Stellungsbezeichnung steht in der zweiten Reihe jeder Tabelle die entsprechende, beobachtete Zahl; in den 4 weiteren Reihen ist der Unterschied zwischen je zwei Stellungen ausgerechnet, also z. B. zwischen *a* und *c*, zwischen *a* und dem nächsten *a*, usw. In der Vertikalreihe rechts sind die Durchschnittswerte dieser Unterschiede angegeben und zwar für *a* : *a* bezw. *c* : *c* usw. durch 2 dividiert, entsprechend ihrer Verwertung zur Korrektion der anderen Zahlen. In der untersten Reihe ist dann noch der nach Fizeau zu erwartende Ausschlag angegeben. Die Zeitangabe zählt vom Augenblick der ersten Ablesung bis zu dem der letzten.

18. November, abends 10^{34} bis 10^{54}.

a	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*
265	262	263	260	274	278

a : *c*	— 3	— 3	+4	+0.7
a : *a*	— 2	+11		+2.2
c : *a*	— 1	+14		+7.5
c : *c*	— 2	+18		+4.0

Zu erwartender Ausschlag: 66.0

19. November, mittags 12^{00} bis 12^{35}.

c	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*
165	155	175	175	165	170	175	170	170	185	190

a : *c*	+20	— 10	+5	±0	+5	+4.0
a : *a*	+20	— 5	±0	+15		+3.8
c : *a*	— 10	±0	+5	— 5	+15	+1.0
c : *c*	+10	— 10	+10	— 5	+20	+2.5

Zu erwartender Ausschlag: 88.0

19. November, nachmittags 6^{14} bis 6^{49}.

a	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*
215	215	220	260	245	268	268	235	250	248	247

a : *c*	±0	+40	— 23	— 33	— 2	+5.6
a : *a*	+5	+25	+23	— 18	— 3	+3.2
c : *a*	+5	— 15	±0	+15	— 1	+0.8
c : *c*	+45	+8	— 33	+13		+4.1

Zu erwartender Ausschlag: 84.0

19. November, abends 10^{07} bis 10^{43}.

a	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*
218	212	220	220	218	230	255	239	260	258	267

a : *c*	— 6	±0	+12	— 16	— 2	— 2.4
a : *a*	+2	— 2	+37	+5	+7	+ 4.9
c : *a*	+8	— 2	+37	+5	+7	+12.0
c : *c*	+8	+10	+9	+19		+ 7.0

Zu erwartender Ausschlag: 88.0

20. November, mittags 12^{16} bis 12^{51}.

a	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*
338	340	325	310	355	358	351	358	350	342	337

a : *c*	+2	— 15	+3	+7	— 8	—2.2
a : *a*	— 13	+30	— 4	+1	— 13	+0.1
c : *a*	— 15	+45	— 7	— 8	— 5	+2.0
c : *c*	— 30	+48	±0	— 6		+1.5

Zu erwartender Ausschlag: 88.0

20. November, nachmittags 5^{12} bis 5^{47}.

a	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*
368	375	345	352	350	362	345	358	364	378	400

a : *c*	+7	+7	+12	+13	+14	+10.6
a : *a*	— 23	+5	— 5	+19	+36	+ 3.2
c : *a*	— 30	— 2	— 17	+6	+22	— 4.2
c : *c*	— 23	+10	— 4	+20		+ 2.1

Zu erwartender Ausschlag: 84.0

20. November, abends 11^{08} bis 11^{44}.

a	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*
343	380	400	412	431	428	423	431	430	440	460

a : *c*	+37	+12	— 3	+8	+10	+12.8
a : *a*	+57	+31	— 8	+7	+30	+11.7
c : *a*	+20	+19	— 5	— 1	+20	+10.6
c : *c*	+32	+16	+3	+9		+ 7.5

Zu erwartender Ausschlag: 84.0

21. November, mittags 11^{50} bis 12^{26}.

a	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*
140	165	200	205	195	200	210	225	210	235	255

a : *c*	+25	+5	+5	+15	+25	+15.0
a : *a*	+60	— 5	+15	±0	+45	+11.5
c : *a*	+35	— 10	+10	— 15	+20	+ 8.0
c : *c*	+40	— 5	+25	+10		+ 8.7

Zu erwartender Ausschlag: 84.0

21. November, nachmittags 5^{25} bis 6^{00}.

a	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*
404	408	422	430	430	435	440	442	454	450	462

a : *c*	+4	+8	+5	+2	— 4	+3.0
a : *a*	+18	+8	+10	+14	+12	+6.2
c : *a*	+14	±0	+5	+12	+12	+8.6
c : *c*	+22	+5	+7	+8		+6.0

Zu erwartender Ausschlag: 84.0

21. November, abends 12^{00} bis 12^{35}.

a	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*
230	221	220	198	230	222	228	230	260	258	255

a : *c*	— 9	— 12	— 8	+2	— 2	— 5.8
a : *a*	— 10	+10	— 2	+32	— 5	+ 2.5
c : *a*	— 1	+32	+6	+30	— 3	+14.8
c : *c*	— 23	+24	+8	+28		+ 4.6

Zu erwartender Ausschlag: 84.0

23. November, mittags 12^{11} bis 12^{40}.

a	c	a	c	a	c	a	c	a
221	224	220	213	176	165	168	143	152

a : c	+3	— 7	— 11	— 25	—10.0
a : a	— 1	— 44	— 8	— 16	— 8.6
c : a	— 4	— 37	+3	+9	— 7.3
c : c	— 11	— 48	— 22		—13.5

Zu erwartender Ausschlag: 73.0

23. November, nachmittags 6^{00} bis 6^{35}.

a	c	a	c	a	c	a	c	a	c	a
182	198	212	205	214	207	210	206	237	244	270

a : c	+16	— 7	— 7	— 4	+7	+ 1.0
a : a	+30	+2	— 4	+27	+33	+ 8.8
c : a	+14	+9	+3	+31	+34	+18.2
c : c	+7	+2	— 1	+38		+ 5.8

Zu erwartender Ausschlag: 73.0

23. November, abends 10^{25} bis 11^{00}.

a	c	a	c	a	c	a	c	a	c	a
328	336	380	345	358	350	356	375	385	398	395

a : c	+8	— 35	— 8	+19	+13	— 0.6
a : a	+52	— 22	— 2	+29	+10	+ 6.7
c : a	+44	+13	+6	+10	— 3	+14.0
c : c	+9	+5	+25	+23		+ 7.7

Zu erwartender Ausschlag: 73.0

24. November, nachmittags 6^{20} bis 6^{50}.

b	d	b	d	b	d	b	d	b
513	515	520	502	518	508	530	560	580

b : d	+2	— 18	— 10	+30	+ 1.0
b : d	+7	— 2	+12	+50	+ 8.4
d : b	+5	+16	+22	+20	+15.7
d : d	— 13	+6	+52		+ 7.5

Zu erwartender Ausschlag: 147.0

24. November, abends 11^{10} bis 11^{48}.

b	d	b	d	b	d	b	d	b	d	b
360	342	360	376	370	375	380	465	490	504	510

b : d	− 18	+10	+5	+85	+14	+19.2
b : b	±0	+10	+10	+90	+20	+13.0
d : b	+18	±0	+5	+25	+6	+10.8
d : d	+28	+5	+90	+39		+20.2

Zu erwartender Ausschlag: 131.0

25. November, nachmittags 6^{15} bis 6^{45}.

b	d	b	d	b	d	b	d	b	d	b
440	448	457	460	478	475	475	468	505	530	548

b : d	+8	+3	− 4	− 7	+25	+ 5.0
b : b	+17	+21	− 3	+30	+43	+10.8
d : b	+9	+18	±0	+37	+18	+16.4
d : d	+12	+15	− 7	+62		+10.2

Zu erwartender Ausschlag: 117.0

25. November, abends 12^{11} bis 12^{46}.

b	d	b	d	b	d	b	d	b	d	b
455	452	480	492	473	485	490	490	482	485	480

b : d	+7	+12	+12	±0	+3	+6.8
b : b	+35	− 7	+17	− 8	− 2	+3.5
d : b	+28	− 19	+5	− 8	− 5	+0.2
d : d	+40	− 7	+5	− 5		+4.1

Zu erwartender Ausschlag: 107.0

26. November, nachmittags 6^{25} bis 6^{46}.

a	c	a	c	a	c	a
260	264	285	267	273	269	264

a : c	+4	− 18	− 4	−6.0
a : a	+25	− 12	− 9	+0.7
c : a	+21	+6	− 5	+7.3
c : c	+3	+2		+1.2

Zu erwartender Ausschlag: 117.0

26. November, abends 11^{00} bis 11^{35}.

a	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*
425	430	430	425	430	435	480	488	480	491	485

a : *c*	+5	− 5	+5	+8	+11	+4.8
a : *a*	+5	±0	+50	±0	+5	+6 0
c : *a*	±0	+5	+45	− 8	− 6	+7.2
c : *c*	− 5	+10	+53	+3		+7.6

Zu erwartender Ausschlag: 117.0

Die folgenden Angaben sind in Prozent des nach Fizeau zu erwartenden Ausschlages ausgedrückt.

Mittags ca. 12 Uhr.

Datum	*a* : *c*	*c* : *a*	Korrektur
19. XI.	+ 4.54	+1.14	− 3.54
20. XI.	− 2.50	+2.27	− 0.91
21. XI.	+17.86	+9.52	−12.05
23. XI.	−13.70	−9.83	+15.15
Durchschn.:	+1.55	+0.75	− 0.34

Mit Korrektur: *a*:*c* = +1.21; *c*:*a* = +0.41

Abends ca. 12 Uhr.

Datum	*a* : *c*	*c* : *a*	Korrektur
18. XI.	+ 1.06	+11.36	− 4.70
19. XI.	− 2.73	+13.86	− 6.05
20. XI.	+15.24	+12.62	−11.43
21. XI.	− 6.90	+17.62	− 4.24
23. XI.	− 0.82	+19.18	−10.00
26. XI.	+ 4.10	+ 6.15	− 5.85
Durchschn.:	+ 1.66	+13.46	− 7.05

Mit Korrektur: *a*:*c* = −5.39; *c*:*a* = +6.41

Mittags und abends zusammen: *a*:*c* = −2.09; *c*:*a* = +3.41

Nachmittags ca. 6 Uhr.

Datum	$a:c$	$c:a$	Korrektur
19. XI.	+ 6.67	+ 0.95	— 4.36
20. XI.	+12.62	— 5.00	— 2.13
21. XI.	+ 3.57	+10.24	— 6.81
23. XI.	+ 1.37	+24.93	—10.00
26. XI.	— 5.13	+ 6.27	— 5.85
Durchschn.:	+ 3.82	+ 7.48	— 4.82

Mit Korrektur: $a:c = -1.00$; $c:a = +2.66$

Nachmittags ca. 6 Uhr.

Datum	$b:d$	$d:b$	Korrektur
24. XI.	+0.67	+10.67	— 5.41
25. XI.	+4.28	+14.01	— 9.00
Durchschn.:	+2.47	+12.34	— 7.20

Mit Korrektur: $b:d = -4.73$; $d:b = +5.14$

Abends ca. 12 Uhr.

Datum	$b:d$	$d:b$	Korrektur
24. XI.	+14.66	+8.24	— 12.69
25. XI.	+ 6.35	+0.19	— 3.56
Durchschn.:	+10.50	+4.21	— 8.12

Mit Korrektur: $b:d = +2.37$; $d:b = -3.91$

Von diesen Resultaten ist das wichtigste das aus denjenigen Messungen erhaltene, welche in der Ost-West-Richtung des mittags und abends ca. 12 Uhr vorgenommen sind, denn um diese Zeit und in dieser

Richtung ist die Erdbewegung, also auch ihr etwaiger Einfluss am stärksten. Da ergiebt sich nun für die Drehung $a:c:-2.09\,^0/_0$ und für $ca:+3\,41\,^0/_0$, also rund ein Ausschlag von $\mp 3\,^0/_0$, anstatt nach Fizeau $\mp 100\,^0/_0$. Ob dieser Ausschlag nun wirklich durch die Erdbewegung hervorgebracht ist, oder ob er auf Versuchsfehler zurückzuführen ist, ist nicht leicht zu entscheiden; für ersteres spricht der Umstand, dass bei derselben Drehung auch des nachmittags ein Ausschlag und zwar nach derselben Richtung hin vorhanden ist. Für die zweite Auffassung sprechen entschieden die Resultate aus der Nord-Süd-Stellung, nach denen um 12 Uhr ein Ausschlag von $\pm 3\,^0/_0$ — also gerade entgegengesetzt, wie bei der Ost-West-Stellung — und um 6 Uhr ein solcher von $\mp 5\,^0/_0$ entstand, während überhaupt keiner hätte auftreten dürfen. Nach meiner Überzeugung hat die Erdbewegung keinen Einfluss auf die Verteilung der Intensität der Licht- und Wärmestrahlung, oder höchstens einen solchen, der von der zweiten Potenz des Quotienten aus Licht- und Erdgeschwindigkeit abhängig, also jedenfalls nach der von Fizeau vorgeschlagenen Methode so gut wie unmessbar ist.

Vorliegende Arbeit wurde im physikalischen Institut der Universität zu Bonn angefertigt. Für das Wohlwollen, das der Direktor desselben, Herr Prof. Dr. Kayser, mir stets gezeigt hat, möchte ich ihm auch an dieser Stelle meinen Dank ausdrücken. Ganz

besonders aber gilt mein Dank Herrn Privatdozent Dr. Bucherer, der mir bei der Ausführung der Versuche jederzeit in liebenswürdigster Weise mit Rat und Tat zur Seite gestanden und mir die zu den Versuchen nötigen Apparate freundlichst zur Verfügung gestellt hat.

Bonn, Neujahr 1903.

Lebenslauf.

Geboren wurde ich, Paul Nordmeyer, am 3. Oktober 1880 zu Moers als Sohn des Pfarrers Heinrich Nordmeyer und seiner Ehefrau Lina, geb. Lampe. Nach Besuch der Moerser Volksschule kam ich auf das Gymnasium Adolfinum zu Moers, das ich Ostern 1899 mit dem Zeugnis der Reife verliess. Wohl besonders durch den Unterricht meines hochverehrten Lehrers, des Herrn Professor Wimmenauer, wurde ich zum Studium der Mathematik und Physik angeregt, zu welchem Zwecke ich die Universitäten Göttingen, Berlin und seit Ostern 1901 Bonn besuchte. Meine akademischen Lehrer waren:

in Göttingen: Berthold, Bürger, Hilbert, Peters, Rhumbler, Riecke, Schilling, Schur, Wagner;

in Berlin: Blasius, Fischer, Fuchs †, Paulsen, Pinner, Rawitz, Schwartz;

in Bonn: Anschütz, Baeumker, Bucherer, Clemen, Erdmann, Gothein, Hagenbach, Kayser, Kortum, Küppers, Laspeyres, Lipschitz, Lorberg, Pflüger, Rauff.

Ihnen allen schulde ich grossen Dank.

Thesen.

1. Alle Erfahrungstatsachen auf dem Gebiete des Elektromagnetismus lassen sich mit der Meinung in Einklang bringen, dass eine Wirkung nur bei relativer Bewegung von Materie zu Materie auftreten kann.
2. Der Fortschritt im Naturerkennen ist abhängig von der Verfeinerung unserer Instrumente und Beobachtungsmethoden.
3. Im Triphenylmethyl ist der Kohlenstoff als dreiwertig anzunehmen.
4. Die Proutsche Hypothese, dass die Atomgewichte der Elemente Multipla einer Einheit sind, gewinnt durch die Entdeckung des Radiums wieder sehr an Wahrscheinlichkeit.